

Warszawa, 22 kwietnia 2015

Kwantowi paparazzi sfilmowali łączenie się fotonów w pary

W świecie kwantów światła ekscentrycy są skazani na samotność. Tylko te fotony, które są nierozróżnialne, mogą tu z całkowitą pewnością połączyć się w pary w wyniku zjawiska nazywanego efektem Hong-Ou-Mandela. Ten subtelny efekt kwantowy po raz pierwszy udało się sfilmować dwóm doktorantom z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Fizycy od dawna wiedzą, że fotony mogą się grupować. Wskutek ograniczeń technologicznych zjawisko to nigdy jednak nie zostało zaobserwowane bezpośrednio. Dopiero ostatnio sztuki tej dokonało dwóch doktorantów Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW). W artykule, właśnie opublikowanym w renomowanym czasopiśmie optycznym „Optics Letters”, Michał Jachura i Radosław Chrapkiewicz zaprezentowali film, na którym wyraźnie widać, jak fotony grupują się dwójkami.

„Jako pierwsi sfilmowaliśmy pojedyncze fotony w bardzo ciekawej sytuacji, gdy wskutek zjawiska znanego jako dwufotonowa interferencja Hong-Ou-Mandela dobierają się w pary”, mówi doktorant Michał Jachura i rozbudowując matrymonialną analogię dodaje: „Wykonując nasz eksperyment czuliśmy się trochę jak paparazzi. Naszym podstawowym narzędziem pracy była wyrafinowana kamera najnowszej generacji, miejsce ekskluzywnych lokali zajął świat mechaniki kwantowej, a fotony stały się naszymi celebrytami”.

Zjawisko interferencji można obserwować, gdy fala – świetlna, dźwiękowa lub jakakolwiek inna – przechodzi przez przesłonę z więcej niż jedną szczeliną (jako pierwszy takie doświadczenie wykonał w XIX wieku brytyjski fizyk Thomas Young). Każda szczelina zaczyna wtedy działać jak źródło nowej fali i za przesłoną tworzy się charakterystyczny układ prążków interferencyjnych. Tam, gdzie grzbiety fal się wzmacniają, w przypadku światła widać jasne prążki, podczas gdy miejsca, gdzie fale się tłumią, pozostają ciemne.

Obiekty świata kwantów mają zadziwiającą właściwość: w zależności od sposobu, w jaki je obserwujemy, zachowują się albo jak cząstki, albo jak fale. Jeśli pojedynczy foton zachowuje się jak fala, może przejść przez dwie szczeliny jednocześnie i za przesłoną utworzą się prążki interferencyjne (co oznacza, że pojedynczy foton interferuje sam ze sobą). Interferencja będzie jednak widoczna tylko pod warunkiem, że układ pomiarowy nie pozwala stwierdzić, przez którą szczelinę przeszedł foton. Jeśli rozróżnienie jest możliwe (bo np. za jedną ze szczelin umieszczono płytkę zmieniającą polaryzację światła), wtedy foton natychmiast zachowuje się jak cząstka i prążki interferencyjne znikają.

W 1987 roku grupa fizyków z University of Rochester (UR) przewidziała i zaobserwowała subtelny efekt kwantowy w układzie doświadczalnym z płytką światłodziącą – a więc płytką, która część padającego na nią światła przepuszcza, a część odbija. Parametry płytki można tak dobrać, aby prawdopodobieństwo odbicia fotonu równało się prawdopodobieństwu jego przepuszczenia. Jeśli ku jednej stronie takiej płytki wyśle się pojedynczy foton, a ku drugiej drugi, możliwe są cztery warianty rozwoju wydarzeń: albo oba fotony jednocześnie się odbiją, albo oba zostaną przepuszczone, albo foton z jednej strony będzie przepuszczony, a z drugiej odbity – bądź vice versa. Obliczenia kwantowo-mechaniczne fizyków z UR wskazywały, że takie warianty rzeczywiście wystąpią, lecz tylko wtedy, gdy fotony dolatujące do płytki będą rozróżnialne, a więc gdy będą się zachowywać jak cząstki. Jeśli fotony pozostaną nierozróżnialne, dojdzie między nimi do interferencji. W jej wyniku oba fotony zgrupują się w parę i pojawią się zawsze razem albo po jednej, albo po drugiej stronie płytki.

„Zjawisko Hong-Ou-Mandela było wcześniej obserwowane, ale tylko za pomocą fotodiod, które po prostu sygnalizowały detekcję fotonu wysyłając impuls elektryczny. My mieliśmy do dyspozycji dużo więcej: zbudowaną w naszej grupie wyrafinowaną kamerę. Nieco podobna do noktowizora, kamera ta składa się z ultranowoczesnego wzmacniacza obrazu oraz bardzo czułego i szybkiego sensora sCMOS o niskim poziomie szumów. Sprzęt okazał się tak dobry, że mogliśmy zbadać zachowania pojedynczych cząstek światła i sfilmować ich kwantową interferencję”, mówi doktorant Radosław Chrapkiewicz i podkreśla, że członkami zespołu konstruktorów kamery byli także dr Wojciech Wasilewski i inż. Jarosław Iwaszkiewicz (obaj z FUW).

Za pomocą kamery ze wzmacniaczem obrazu naukowcy z Wydziału Fizyki UW sfilmowali zachowanie fotonów w dwóch sytuacjach: gdy fotony wysyłane ku płytce światłodziącej były rozróżnialne oraz gdy były nierozróżnialne. W pierwszym przypadku na sekwencji zdjęć widać, że pojedyncze zielone plamki, odpowiadające zarejestrowanym pojedynczym fotonom, pojawiają się przypadkowo z każdej strony płytki bądź razem po jednej z jej stron. Jednak od momentu, gdy fizycy rozmyślnie zlikwidowali rozróżnialność między fotonami, te natychmiast połączyły się w pary i opuszczały płytkę światłodziącą zawsze po tej samej stronie, nigdy osobno.

„Sfilmowanie interferencji dwufotonowej to bardzo ważny wynik dla optyki kwantowej, oznacza bowiem, że fizycy mogą od teraz bezpośrednio obserwować przestrzenne zjawiska optyczne zachodzące z udziałem pojedynczych fotonów”, podkreśla prof. dr hab. Tomasz Matulewicz, dyrektor Instytutu Fizyki Doświadczałnej Wydziału Fizyki UW.

Wyniki badań, finansowanych z grantu PRELUDIUM Narodowego Centrum Nauki, stanowią ważny wkład w opracowanie wydajnych metod detekcji kwantowych stanów światła oraz w budowę superrozdzielczych mikroskopów optycznych nowego typu, zdolnych rejestrować obrazy za pomocą niewielkiej liczby fotonów, a więc w sposób w pełni bezpieczny dla nawet bardzo delikatnych próbek.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczałnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Shot-by-shot imaging of Hong-Ou-Mandel interference with an intensified camera”: M. Jachura, R. Chrapkiewicz; *Optics Letters*, Vol. 40, Issue 7, pp. 1540-1543 (2015); DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/OL.40.001540>

KONTAKTY:

mgr **Radosław Chrapkiewicz**
Instytut Fizyki Doświadczałnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532629
email: radoslaw.chrapkiewicz@fuw.edu.pl

mgr **Michał Jachura**
asystent naukowy, Instytut Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532629
email: michal.jachura@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY FILMOWE:

<https://www.youtube.com/watch?v=BFIM5pHyd1k>
Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego po raz pierwszy sfilmowali, jak fotony łączą się w pary. (Źródło: FUW)

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW150422b_fot01s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150422b_fot01.jpg
W pewnych warunkach dwa pojedyncze, nierozróżnialne fotony wskutek interferencji połączą się w parę. Ten subtelny efekt kwantowy został po raz pierwszy sfilmowany przez doktorantów Michała Jachurę i Radosława Chrapkiewicza z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (oba na zdjęciu, powieleni i zgrupowani w parę po obu stronach aparatury pomiarowej). (Źródło: FUW, R. Chrapkiewicz)

FUW150422b_fot02s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150422b_fot02.jpg
Pionowa sekwencja klatek filmu (pasków) po lewej przedstawia dwa pojedyncze, rozróżnialne fotony (zielone plamki) pojawiające się przypadkowo po jednej, drugiej lub obu stronach płytki światłodzielnącej (zobrazowanej pośrodku każdego paska jako linia oddzielająca obszary odpowiadające stronom płytki). Na sekwencji klatek po prawej oba fotony były nierozróżnialne i wskutek interferencji połączyły się w parę. (Źródło: FUW)